

# Le satellite CoRot.

Retour sur un bilan  
scientifique  
remarquable

Touiri Rim

Conçu et réalisé sous la direction scientifique de l'Observatoire de Paris, le satellite CoRoT (pour CONvection, ROTation et Transits planétaires) est un télescope spatial destiné à l'étude de la structure interne des étoiles et à la recherche d'exoplanète. Lancé le 27 décembre 2006, C'est le premier télescope en orbite destiné à la recherche de planètes extrasolaires et notamment de planètes telluriques <sup>1</sup>. Le bilan couronné de succès de CoRoT, avaient conduit le CNES et ses partenaires à prolonger sa mission, initialement prévue pour une durée de 3 ans, à 3 ans de plus ; Après 6 ans d'études de recherches : Il paraît très intéressant de revenir sur son bilan scientifique remarquable.

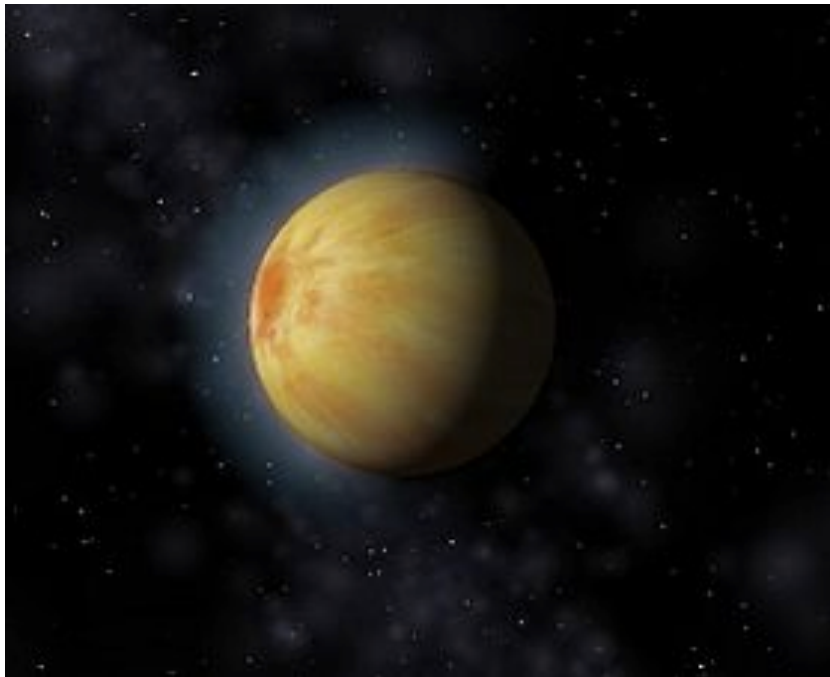
Pour ce faire, nous allons tout d'abord relayer l'histoire de ce projet, puis nous allons nous intéresser à la description du satellite, ensuite, nous parlerons des missions du satellite pour après, finalement, étudier ses résultats.



## Un peu d'histoire...

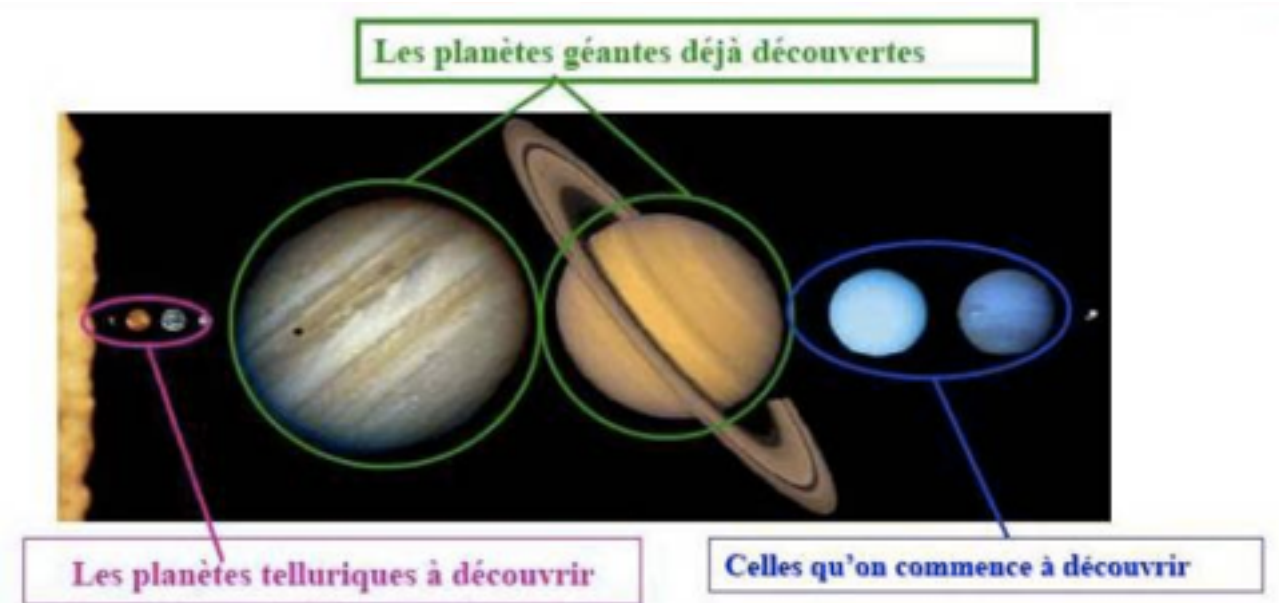
Si, comme dit précédemment, CoRot fut lancé qu'en 2006, le projet en soi date de bien avant ; en 1993. En effet, c'est dans cette période-là que fut trouvé l'objectif initial qui est de détecter, dans quelques étoiles brillantes, les mêmes vibrations que celles découvertes dans le soleil ; il s'agissait donc de voir à l'intérieur des étoiles. Pour cela, les méthodes de sismologie <sup>2</sup> - qu'on expliquera plus tard- furent choisies. Ce n'est qu'en 1994 que le projet fut proposé par le CNES, en étant une « petite mission » d'étude stellaire.

Puis, le 6 octobre 1995, un évènement imprévu changea la donne : c'est la découverte<sup>3</sup> Michel Mayor et Didier Queloz (de l'Observatoire de Genève), de la première<sup>4</sup> exoplanète autour d'une étoile proche qui ressemble à notre Soleil : la planète 51 pegasi b, aussi nommée Dimidium, qui est en orbite autour de l'étoile 51 Pegasi / Helvetios, une étoile naine jaune située à une distance d'environ 51 années-lumière dans la constellation boréale de Pégase. C'est le premier élément de ce que l'on va appeler des "Jupiter chauds" (Hot Jupiter).



Vue d'artiste de la planète 51 Pegasi b.

Mais pour le moment on ne découvre que des planètes géantes, on commence à détecter des planètes style Neptune, mais les telluriques restent à découvrir.



Par conséquent, il fut décidé que CoRoT devra observer les passages (transits) des petites planètes. C'est donc à ce moment-là que fut annoncée la double mission de CoRoT : analyse des mouvements sismiques des étoiles et recherche de planètes extra solaires. On notera que, à cause des multiples menaces d'annulations ou de réduction de crédits, le deuxième objectif a souvent été mis en avant afin d'assurer la promotion du projet auprès du grand public et des financiers.

De plus, la sélection des étoiles à observer avec CoRoT nécessite un travail très minutieux de préparation, que ce soit pour le programme de sismologie pour lequel il s'agit de rassembler le maximum d'information sur quelques centaines d'étoiles ou pour la recherche d'exo-planètes pour laquelle il faut rassembler des données sur une centaine de milliers d'étoiles.

Ce travail de sélection a réclamé un vaste effort d'observation au sol des cibles potentielles de la mission.

Ainsi, jusqu'aux années 2000 fut la durée d'étude du projet ; en octobre 2000 commença la réalisation du satellite, en Décembre 2005 ont eu les tests finaux et le 27 décembre 2006, CoRoT a été lancé à l'aide d'une fusée Soyouz 2.1.B à partir de Baïkanour au Kazakhstan.

Le 17 janvier 2007, la première commande d'ouverture de l'obturateur a été envoyée, et les premières images d'étoiles ont été obtenues la nuit suivante dans la constellation de la Licorne.

*Il aura nécessité 350 à 400 nuits d'observations préparatoires...*

Le projet ayant été à la base conçu pour une durée de vie de 3 ans, un premier prolongement fut décidé le 23 octobre 2009 puis un deuxième en 2012.



Finalement, une panne d'alimentation des calculateurs bord probablement due au bombardement de particules de haute énergie, a interrompu le fonctionnement de l'instrument en novembre 2012 (la plateforme satellite restant fonctionnelle), et en janvier 2013 le CNES considérait assez peu probable de pouvoir le redémarrer. Après abaissement de l'orbite, le satellite CoRoT arrive au terme de sa mission après plus de 7 ans d'exploitation et 2729 jours passés dans l'espace. Il a été électriquement désactivé le 17 juin 2014 à 10h27 et a cessé d'émettre ce même jour à 16h16. Depuis le début du mois de juin 2014, son altitude avait déjà commencé à être abaissée, ses batteries vidées et, au matin du 18 juin 2014, ses panneaux solaires ont été déconnectés. Un ensemble d'opérations a été ensuite réalisé pour abaisser l'orbite de CoRoT, réaliser des expérimentations technologiques puis passer le satellite. Le voyage de CoRoT se terminera ensuite lorsqu'il se consumera dans l'atmosphère de la Terre.

Annie Baglin, astrophysicienne de l'Observatoire de Paris, envoie la dernière télécommande à CoRoT le 17 juin 2014.



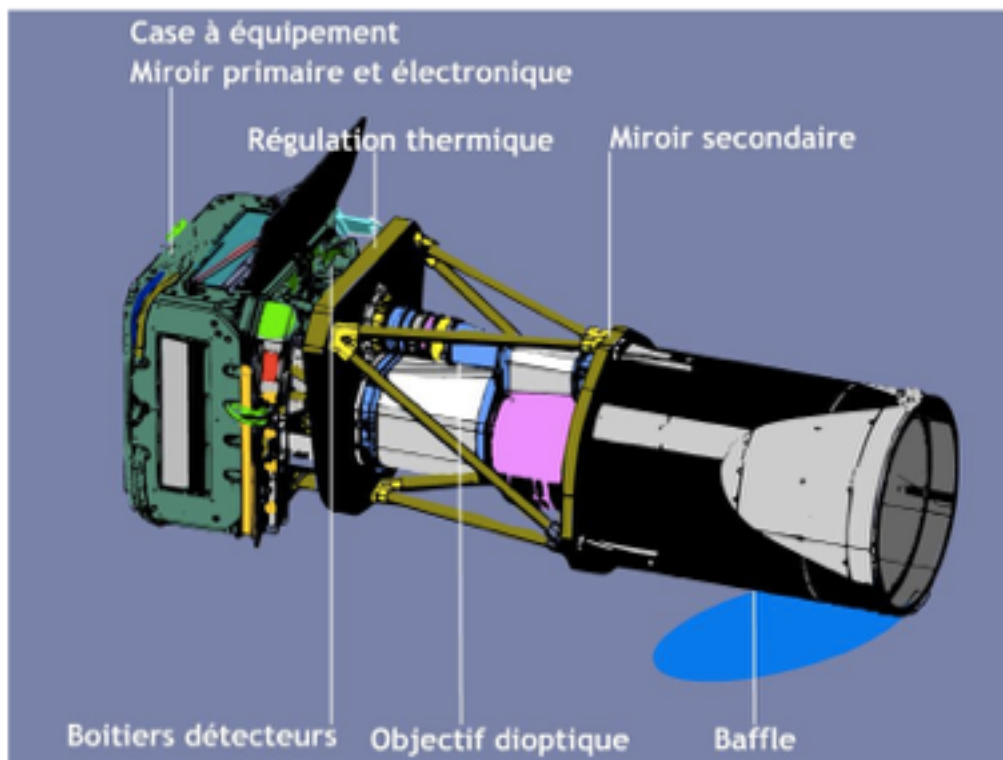
*La mission conçue pour trois ans en aura donc duré sept ans et demi...*



## Description du satellite.

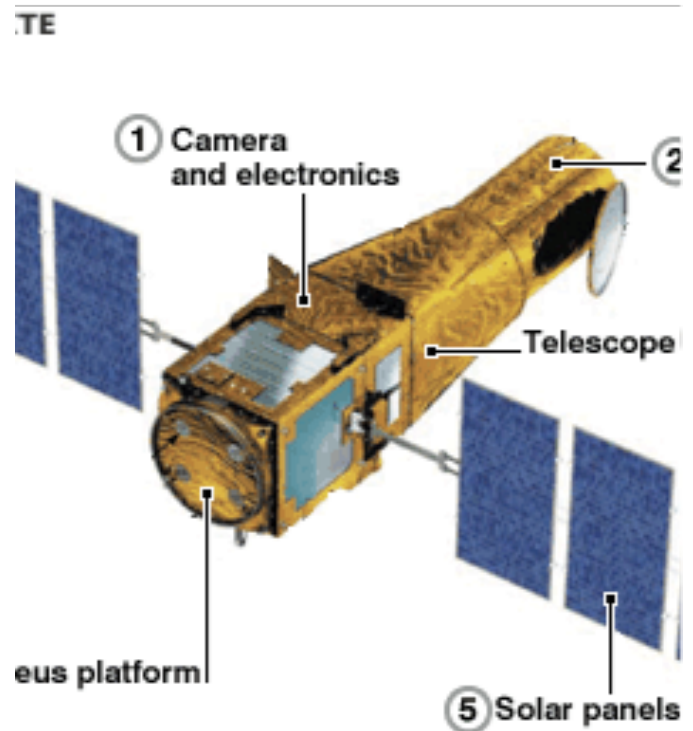
Pour pouvoir "voir" l'intérieur des étoiles en détectant et en étudiant leurs oscillations grâce aux méthodes de la sismologie et en même temps rechercher des planètes extra solaires en détectant leur passage devant les étoiles autour desquelles elles gravitent. Corot doit mesurer avec une très grande précision les variations d'éclat d'étoiles sélectionnées, pendant de très longues périodes.

La base de ces mesures est un télescope afocal de 27 cm à grand champ (très grand champ même :  $7^\circ$  carré) qui permet d'observer un très grand nombre d'objets. Ce champ fonctionne dans le domaine visible et est sensible à de très faibles variations de lumière. Il collecte et concentre les photons et forme une image du ciel sur [les détecteurs CCD](#) ( qu'on expliquera ensuite) installés dans le bloc focal. [Deux miroirs](#) le principal; 30cm et le secondaire 10cm. Le faisceau passe ensuite par un [objectif dioptrique](#) (IAS Orsay) de 1200 mm de focale ouvert à f/4. [La case à équipement](#) contient tous les équipements électroniques nécessaires au fonctionnement de l'instrument et le calculateur de bord en charge du traitement des données.



Ce télescope est couplé à 4 CCD de 4 millions de Pixels chacun, (deux pour chaque partie de la mission). Les CCD (voir photo plus bas dans le texte) sont à transfert de frames (de trames en français), 4 millions de pixels d'infos et 4 millions de pixels de mémoire de transfert:

1. CDD camera and electronics.  
Captures et analyses la lumière des étoiles.
2. Baffle: Travaux pour protéger le télescope de la lumière.
3. Telescope: Un miroir de 30cm, il considère le champ d'étoiles.
4. Proteus platform: Contient des équipements de communication, de contrôle de température et de la direction des contrôles.
5. Solar panel: utilisation du rayonnement solaire pour alimenter le satellite.



\* Deux des capteurs sont consacrés à l'astérosismologie<sup>5</sup>, les deux autres à la recherche des planètes extrasolaires. Ces capteurs enregistrent simultanément les variations d'éclat de 10 étoiles brillantes (de magnitudes<sup>6</sup> comprises entre 6 et 9.5) pour le programme de sismologie et de plus de 10 000 étoiles faibles (de magnitudes<sup>6</sup> comprises entre 11 et 16) pour le programme exoplanètes.

\* La plateforme PROTEUS fournit toutes les ressources nécessaires au fonctionnement du satellite dans l'espace : Contrôle de la trajectoire, grâce à un ensemble complexe de contrôle d'attitude, puissance électrique, grâce à ses panneaux solaires et communication avec la Terre, grâce à une antenne.

L'instrument fait 630 kg, et 4,2 mètres de long par 1,9 mètres de diamètre. Son énergie est fournie par deux panneaux solaires de chaque côté délivrant une puissance de 380 watts. Son intégration fut effectuée par Alcatel Space à Cannes.



L'ensemble a ensuite été envoyé à Toulouse pour des tests électromagnétiques (Intespace) dans une chambre anéchoïque<sup>7</sup> (voir photo à gauche) et des tests climatiques dans le vide simulant le Soleil. Et, une fois les tests terminés il repart à Cannes pour intégration définitive avec la plateforme Proteus, et le 6 Janvier 2006 , née vraiment le satellite Corot dans sa configuration définitive (voir photo à droite).

Au vue de la prolongation de 3 ans de la mission, on ne peut que confirmer le fonctionnement impeccable de l'instrument. Maintenant qu'on a la bonne composition de l'instrument, on peut songer à l'envoyer dans l'espace.

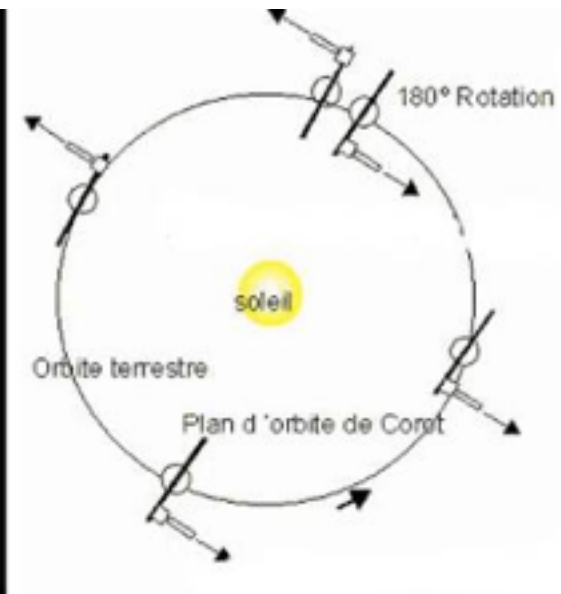
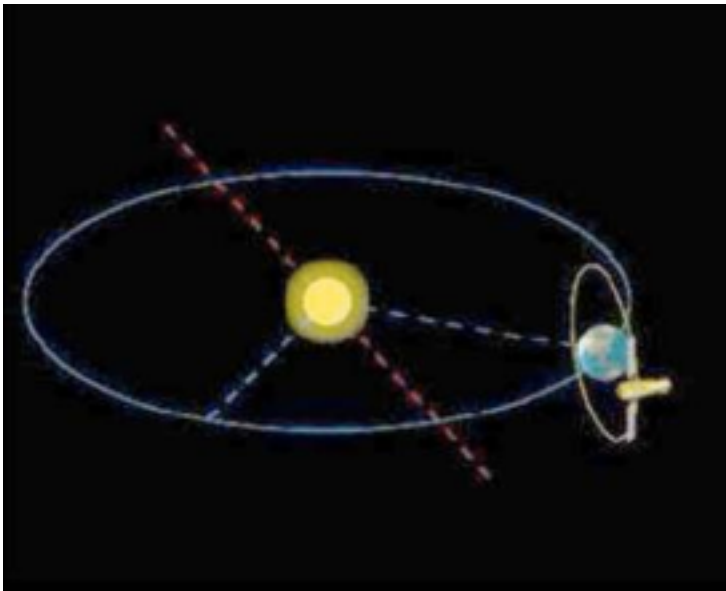
*Mais quelle orbite lui donner ?*



CoRoT fait partie du programme "petites missions" du CNES ; ce programme impose une orbite basse : Le satellite est donc placé en orbite polaire inertielle à 896 km d'altitude. Au dessus de cette altitude, les radiations solaires, surtout des protons très énergétiques, sont trop abondants et risquent d'endommager l'instrument. En dessous, la proximité de la Terre renforce les effets néfastes de la lumière solaire réfléchiée par la Terre.

Cette orbite, inédite pour un satellite d'observation du ciel, permet des campagnes d'observation de longue durée et sans interruption de la même direction du ciel.

Cependant, à cette altitude, la lumière diffusée par la surface de la Terre est encore relativement importante. Mais le baffle optique à l'entrée du télescope et dont on a parlé précédemment, permet de remédier à ce problème ; notamment grâce à son coefficient d'atténuation (meilleure que  $10^{12}$ ),



Puis, Les portions du ciel que l'on peut observer doivent être éloignées à la fois du Soleil, de la Terre et même de la Lune. La direction de visée ne doit jamais être occultée par la Terre : Il faut donc observer dans une direction très proche de la perpendiculaire au plan de l'orbite, cela conduit à observer perpendiculairement à l'orbite, et, pour que le satellite tourne toujours le dos au Soleil -afin de ne pas être ébloui par le Soleil- et puisque la Terre tourne autour du Soleil en un an, on tourne le satellite tous les six mois et on observe dans deux directions "opposées".

Pour conserver un rendement maximum les panneaux solaires doivent être réorientés en direction du soleil tous les 10 jours environ.

Et donc, le ciel observable par CoRoT étant limité par les performances du satellite et par la nécessité d'observer dans l'ombre du Soleil ; S'y rajoute la nécessité d'observer, cela va de soit, là où on a le plus de chances de voir des étoiles : Toutes ces conditions définissent *les yeux de Corot*.

Il s'agit de deux cercles diamétralement opposés sur le ciel de 12 degrés de rayon, centrés à l'intersection du plan galactique et du plan équatorial. L'un, observable en hiver (vers l'anticentre) est situé près des constellations d'Orion et de Monoceros, l'autre observable en été (vers le centre galactique) près de celles de l'Aigle et de Scutum.



*Ce que verra CoRoT sur une carte du ciel limitée aux régions équatoriales. Les régions claires délimitent la voie lactée.*

*Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE:*

*Il y a donc deux directions d'observation fixes diamétralement opposées pour toute la mission...*

## *Désormais, intéressons nous au centre de données CoRot.*

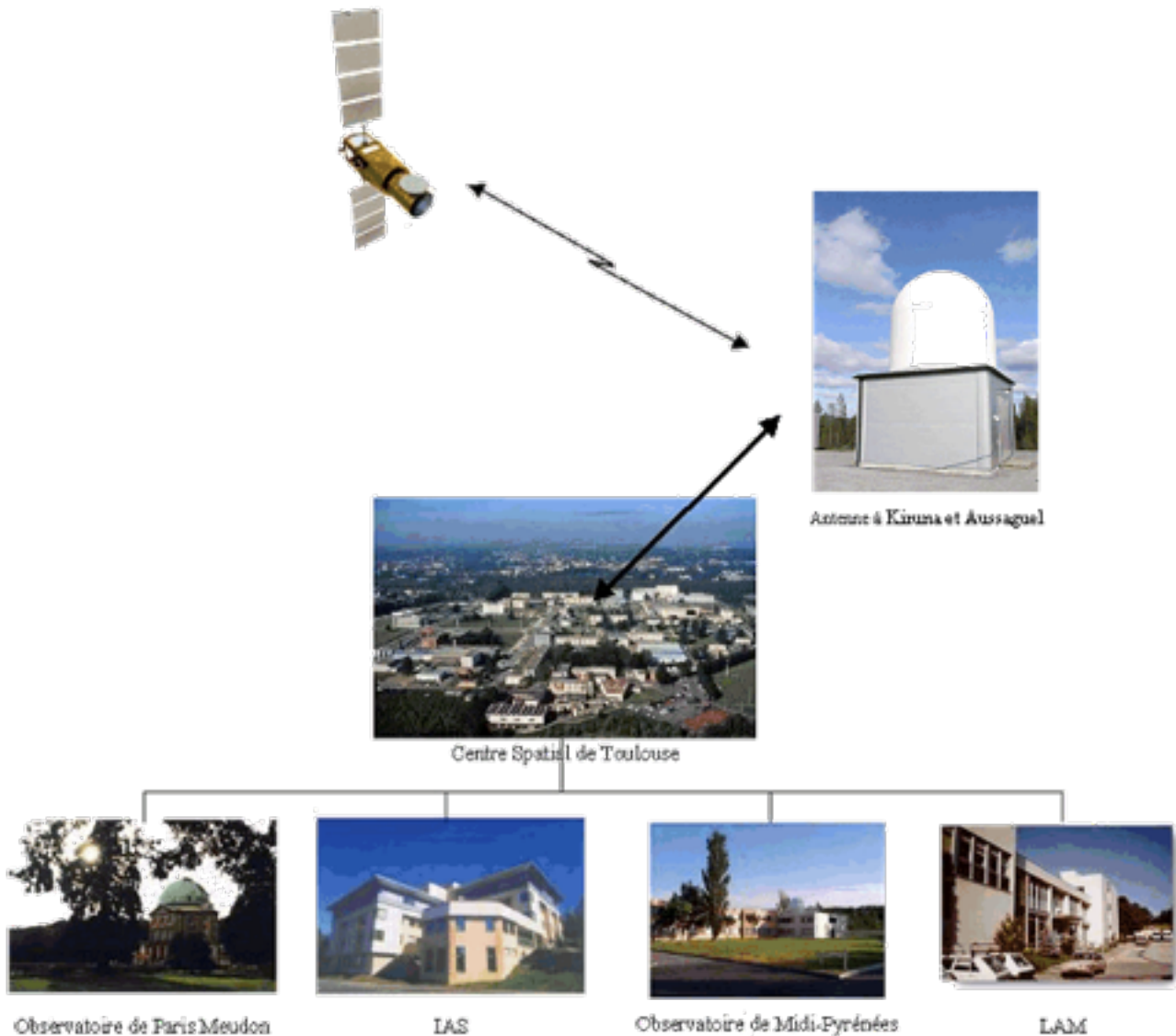
En effet, comme chaque mission, Corot possède une équipe qui lui est ou était exclusivement consacrée, en plus de d'autres dispositions matérielles. Le bilan élogieux du satellite est donc indissociable des moyens déployés au sol pour mettre à poste, suivre le satellite et exploiter les données qu'il transmettait. Il s'agit du "Segment Sol » qui regroupe l'ensemble des moyens sol nécessaires à l'envoi et à la réception des informations échangées avec le satellite et aux traitements des données reçues.



Les composantes du segment sol sont :

- Une station sol principale et une station sol secondaire pour l'émission et la réception des données ( On élargira ce point dans la partie suivante).
- Le Centre de Contrôle CoRoT (CCC) qui transmet au satellite toutes les informations montantes.
- Un réseau de transmission de données.
- Le Centre de Mission CoRoT (CMC) qui prépare les observations (chaîne montante), traite les informations reçues du satellite (chaîne descendante) et effectue les premiers traitements sur les données scientifiques.
- Et enfin le Centre de Données CoRoT' (CDC) est en charge de la qualité finale des données et de leur distribution à la communauté scientifique.





*Comme promis, approfondissons quant aux stations au sol, il en a deux :*

- \* Une station principale : Elle assure le lien bord/sol avec le satellite, c'est-à-dire : la transmission des télé-commandes au satellite, la réception des données (télémessures) provenant du satellite et l'envoi des informations vitales de surveillance en temps réel au Centre de Contrôle CoRoT. Elle appartient au réseau de stations ICONES. Ce réseau comprend actuellement deux stations situées à Kiruna et Aussaguel compatibles avec les programmes PROTEUS et Myriade<sup>9</sup>. Il s'agit de stations automatiques bande S au standard CCSDS<sup>10</sup>, munies d'une antenne de 3m de diamètre sous radôme<sup>11</sup> et télégerées par les centres de contrôle.



\* Une station secondaire au sol : La composante sol opérationnelle est complétée d'une seconde station sol, dite secondaire et implantée au Brésil. Cette station a pour fonction d'*accroître la capacité du lien bord/sol* (communications avec le satellite) dans les phases de calibrations et de mise en station, et d'*accroître la volumétrie* de données scientifiques dans les phases d'observations. Elle est située à Natal et mise à disposition par le coopérant brésilien, est du même type que celles mises en œuvre au sein d'ICONES (compatible avec l'ensemble des interfaces PROTEUS).

Quant aux données, elles sont d'abord validées puis sont mises à disposition à travers Internet par l'archive du projet installée à l'IAS (Institut d'Astrophysique Spatiale) situé sur le campus universitaire d'Orsay en région parisienne. La communauté associée à CoRoT bénéficie d'un accès réservé pendant un an. Puis, à plus long terme les données ont été transférées au Centre de Données astronomiques de Strasbourg où leur accessibilité au travers des outils de l'Observatoire Virtuel est assurée. Aujourd'hui elles sont effectivement publiques et les données finales ont été publiées le 18 juillet 2016 et sont consultables sur le site du CNES : <https://corot.cnes.fr/fr/publication-des-donnees-finales-de-corot>

**Maintenant, avant d'entrer dans le vif du sujet, on va expliquer d'abord ses techniques d'observation.**

Rappelons les deux objectifs principaux de la mission :

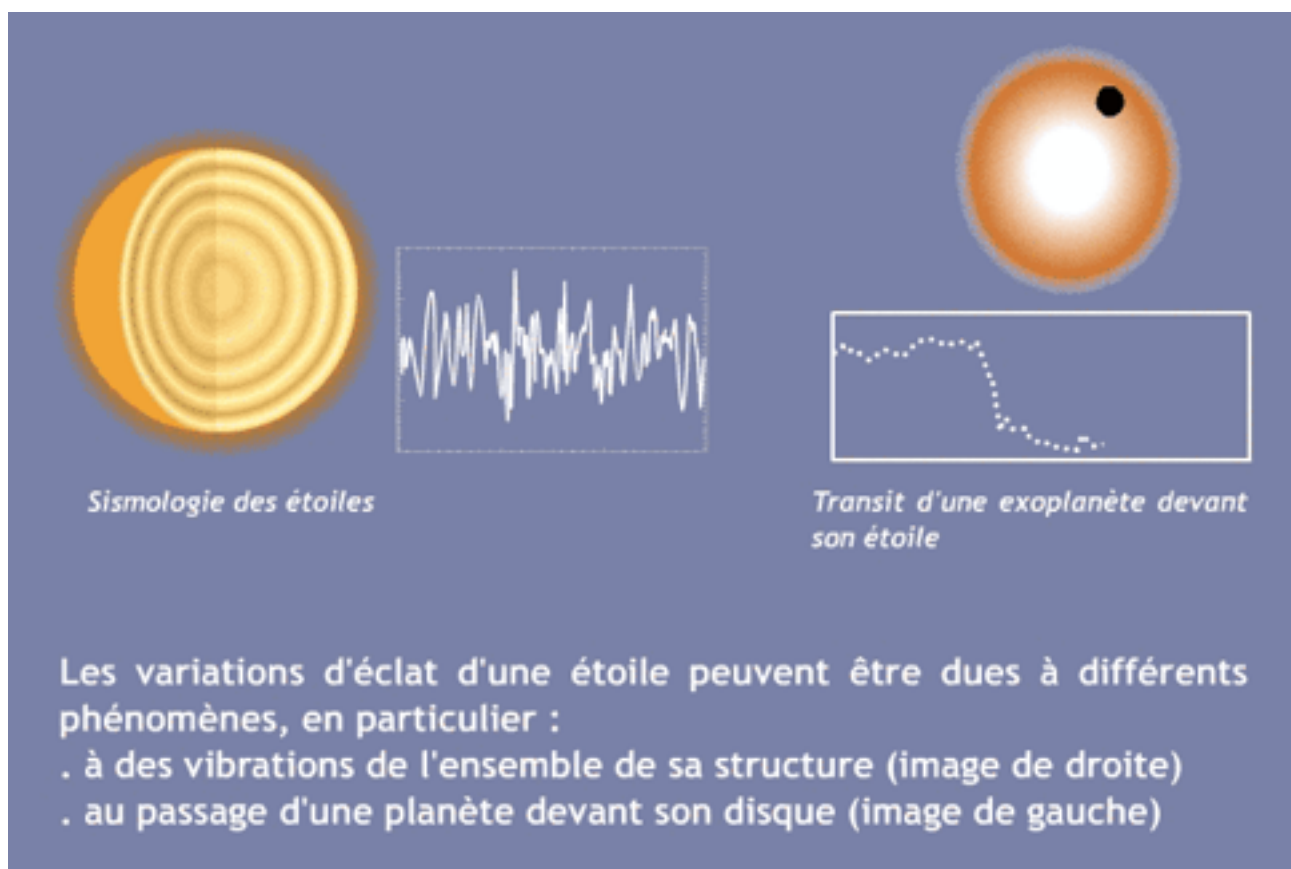
- Observer les oscillations d'une étoile.
- Détecter les transits de petites planètes lointaines.

Ces deux phénomènes nécessitent les mêmes techniques d'observation, qui sont les deux principales techniques utilisées actuellement pour détecter des oscillations stellaires et des transits planétaires :

- La technique spectroscopique : Elle consiste à mesurer avec une grande précision la vitesse radiale de l'étoile par effet Doppler en l'observant avec un spectrographe et en mesurant les déplacements des raies spectrales dûs à cet effet. Les oscillations stellaires sont détectables par cette méthode car elles engendrent des champs de vitesse à la surface des étoiles. Cette technique peut être utilisée depuis le sol, mais ne permet de détecter les oscillations que d'un petit nombre d'étoiles et ne donne accès qu'aux planètes extra-solaires géantes.

○ La technique photométrique: permet de mesurer les variations de luminosité. Elle permet de faire ces observations sur un grand nombre d'étoiles très variées. C'est la technique employée par CoRoT. Elle consiste à compter les photons émis par l'étoile et reçus par le télescope, mais elle implique d'observer depuis l'espace.

Les transits planétaires, comme les oscillations stellaires se manifestent par des variations de la luminosité de l'étoile ou bien par des variations de sa vitesse relative par rapport à la Terre qu'il faut mesurer avec une très grande précision. Ensuite, il faut observer longtemps et continûment, donc s'affranchir des interruptions dues aux passages nuageux, à l'alternance jour/nuit et à la rotation de la Terre autour du Soleil.



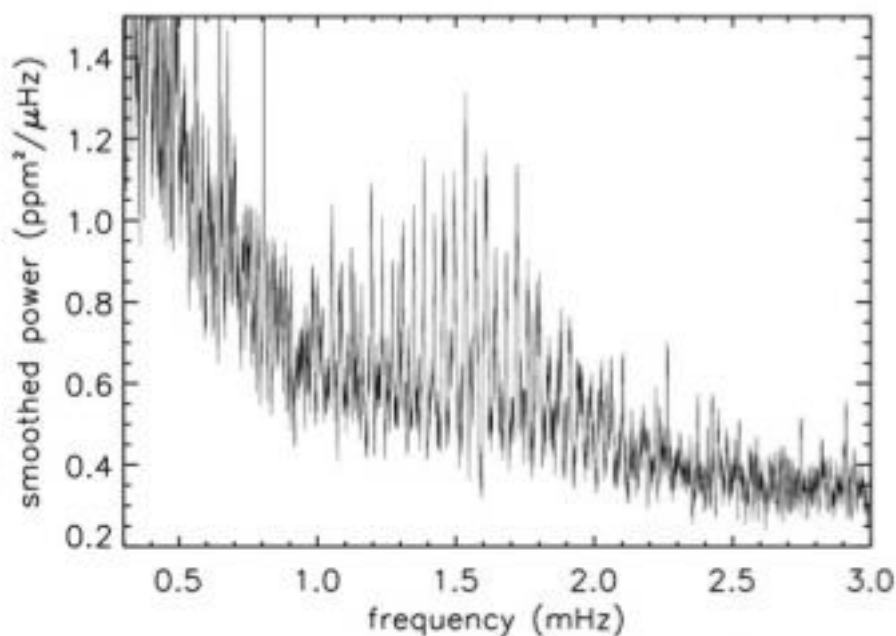
Donc comme dit précédemment, son objectif est de mesurer continûment durant deux à six mois la lumière de 120 000 étoiles dans l'épaisseur du disque de la Voie lactée. Ses deux objectifs scientifiques principaux, d'après le site de la mission, sont :

- L'étude de la sismologie stellaire (désignée dans la première partie de son nom ( Convection, Rotation) : "Voir" l'intérieur des étoiles en détectant et en étudiant leurs oscillations grâce aux méthodes de la sismologie.

- La recherche de planètes extra solaires (désignée dans la seconde partie de son nom Transit) : Rechercher des planètes extra-solaires en détectant leur passage devant les étoiles autour desquelles elles gravitent.
- Des programmes de recherche complémentaires sont également prévus.

## 1. La sismologie<sup>5</sup> stellaire :

Comme un instrument de musique, une étoile vibre selon des modes de pulsation analogues aux différents sons émis par l'instrument. Ainsi, ce sont les dimensions, la forme, la structure interne d'un objet qui déterminent la manière dont il peut vibrer ; Tout comme un verre ne sonne pas de la même façon selon sa forme ou selon qu'il est plus ou moins rempli, ou les notes des cordes d'une guitare sont différentes de celles d'un violon, l'ensemble des "modes de vibration" d'une étoile lui est spécifique et la caractérise, et les fréquences associées révèlent sa structure et constituent en quelque sorte sa carte d'identité.. Les étoiles sont animées en permanence de mouvements périodiques et l'analyse de ces modes permet ainsi de sonder l'intérieur de l'astre et de déduire non seulement la masse et le rayon de l'étoile mais aussi ses caractéristiques internes telles que la composition chimique, le profil de rotation, la température et la densité.



Mode d'oscillation non-radial d'une étoile type solaire. Celui-ci induit une infime variation de luminosité de l'étoile observée par Corot.

—> Les modes de vibration des étoiles, ondes stationnaires parcourant la sphère gazeuse, ont des structures géométriques bien connues. Ces vibrations se traduisent en surface par des variations de rayon et de température qui entraînent des variations de la quantité de lumière émise par l'étoile et des mouvements périodiques de son enveloppe. Certaines étoiles ont des variations de grande amplitude et sont connues depuis très longtemps par les astronomes, qui les appellent les « étoiles variables ». Quant aux vibrations de très petite amplitude, telles que celles observées dans le Soleil, l'observation est une tâche difficile :

\* Le signal que nous recevons des étoiles est très faible (variations très faibles de l'ordre de 1 ppm dans certains cas) : 100 milliards de fois plus faible que celui du Soleil au mieux. Et nous ne voyons les étoiles que comme des points lumineux, sans possibilité de distinguer des détails à leur surface.

\* Seules quelques étoiles brillantes et proches ont révélé leur secret.

En observant ces oscillations dans des étoiles de masse, d'âge, d'origine différentes, nous pourrions reconstituer l'histoire de leur évolution et par là celle de l'Univers tout entier.

## 2. La recherches d'exoplanètes :

Depuis maintenant plus que 10 ans, on sait qu'il existe des planètes gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil : on les appelle planètes extra-solaires ou exo-planètes. Les planètes découvertes à ce jour - rappelons-le - sont toutes de grosses planètes analogues à notre Jupiter, situées très près de leur étoile. La méthode utilisée consiste à détecter la présence d'une planète par la diminution de luminosité qu'elle provoque périodiquement sur l'étoile autour de laquelle elle gravite.

Rappelons qu'en 2004 on a trouvé plus de 120 planètes dans plus de 100 systèmes planétaires. Ces systèmes sont tout à fait étonnants :

- Les planètes sont très massives ( de la masse de Jupiter ou plus ) et cependant elles sont 10 à 100 fois plus près de leur étoiles que Jupiter ne l'est du Soleil. Leurs périodes de révolution sont donc 3 à 1000 fois plus courtes et se mesurent en mois voire en jours.
- Certaines des orbites des planètes de ces système sont des ellipses très allongées, alors que dans le système solaire ce sont des cercles.

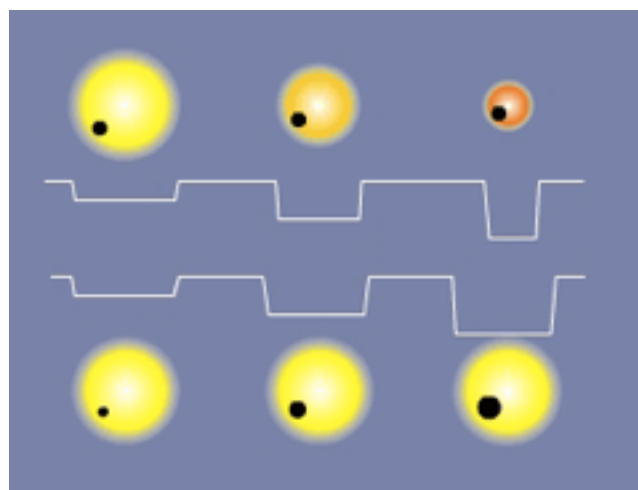


Au lieu de chercher à voir directement l'exo-planète, on essaie donc de mesurer les effets qu'elle induit sur son étoile :

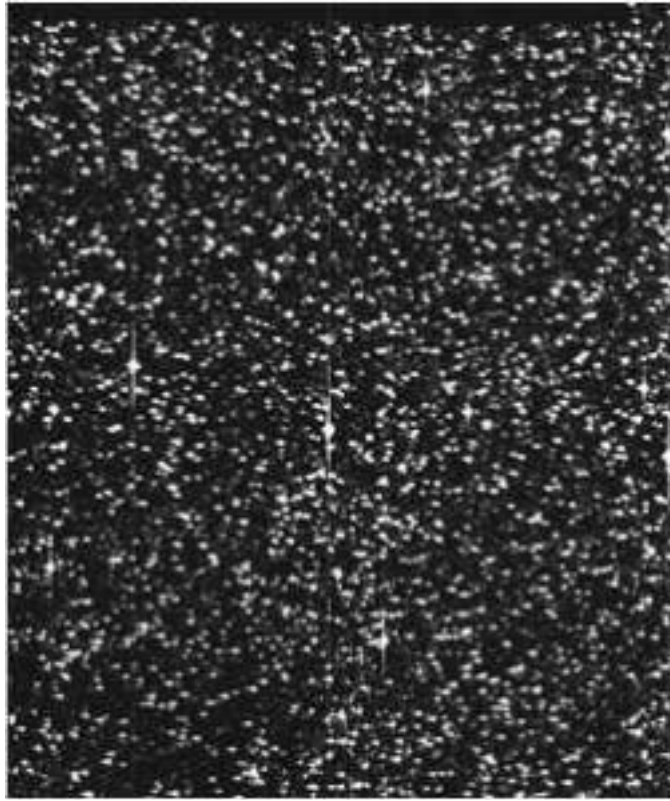
- La perturbation sur le mouvement de l'étoile peut donner lieu à deux types de mesures :
  - La perturbation sur la vitesse relative de l'étoile par rapport à la Terre ; cet effet est mesuré par spectroscopie. C'est par cette méthode que la plupart des planètes connues actuellement ont été découvertes. Elle ne permet pas d'atteindre la précision nécessaire pour détecter des planètes comme la Terre.
  - Les positions successives de l'étoile au cours du temps. Cette méthode est beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre.
- La perturbation sur la luminosité de l'étoile ou "transit" : C'est la méthode employée par CoRoT.

—> On appelle "transit" planétaire le passage d'une planète devant le disque de son étoile. Ce phénomène se produit pour un observateur, lorsque l'étoile, la planète et l'observateur sont alignés. Ce phénomène se traduit par une diminution temporaire de l'éclat de l'étoile. Pour détecter des planètes, on peut donc chercher à mesurer cette faible variation d'éclat. C'est la "méthode des transits", actuellement la seule capable de détecter des planètes telluriques.

—> La "profondeur" du transit dépend de la taille de l'étoile et de celle de la planète. Plus l'étoile est grosse **moins** le transit est profond, **plus** la planète est grosse **plus** le transit est profond. Pour La Terre devant le Soleil la profondeur du transit est 8 dix-millièmes, pour Jupiter il est de un centième. De plus, le transit est périodique et la période est celle de la révolution de la planète. La durée du transit dépend de la période de la planète c'est-à-dire de sa distance à l'étoile. Voici une image montrant la variation d'éclat d'une planète due à un transit :



—> CoRoT observera au moins 5 fois, pendant 150 jours, des régions du ciel dans lesquelles il sera possible de suivre 12000 étoiles candidates à la détection de planètes telluriques.



Simulation d'une image d'une région du ciel, contenant toutes les étoiles de magnitude plus brillante que 20, telle qu'elle sera vue à travers l'instrument CoRoT, dans la voie exo-planète.

Les directions de pointage seront choisies de façon à pouvoir observer 6000 étoiles dans chaque détecteur "exo-planète", de magnitude comprise entre 12 et 15.5, de rayon le plus petit possible, et qui ne sont pas polluées par des étoiles voisines. On *espère* ainsi détecter au cours de la mission quelques dizaines de planètes analogues à la Terre et plusieurs centaines voire un millier de planètes géantes.

C'est ce que la mission CoRoT permettra de réaliser pour la première fois...

*Maintenant que la mission fut expliquée, intéressons nous aux résultats.*

Pendant les 6 ans d'acquisition des données, Les objectifs principaux de détection d'oscillations de type solaire et de planètes de petite taille ont été réalisés. Ainsi, CoRoT a observé 163 682 étoiles pour des durées comprises entre 22 et 153 jours, dont 158 étoiles brillantes ( $V < 9.5$ ). Ces observations ont déjà donné lieu à plus de 1000 publications contenant CoRoT dans le titre et/ou l'abstract, environ +1 par semaine.

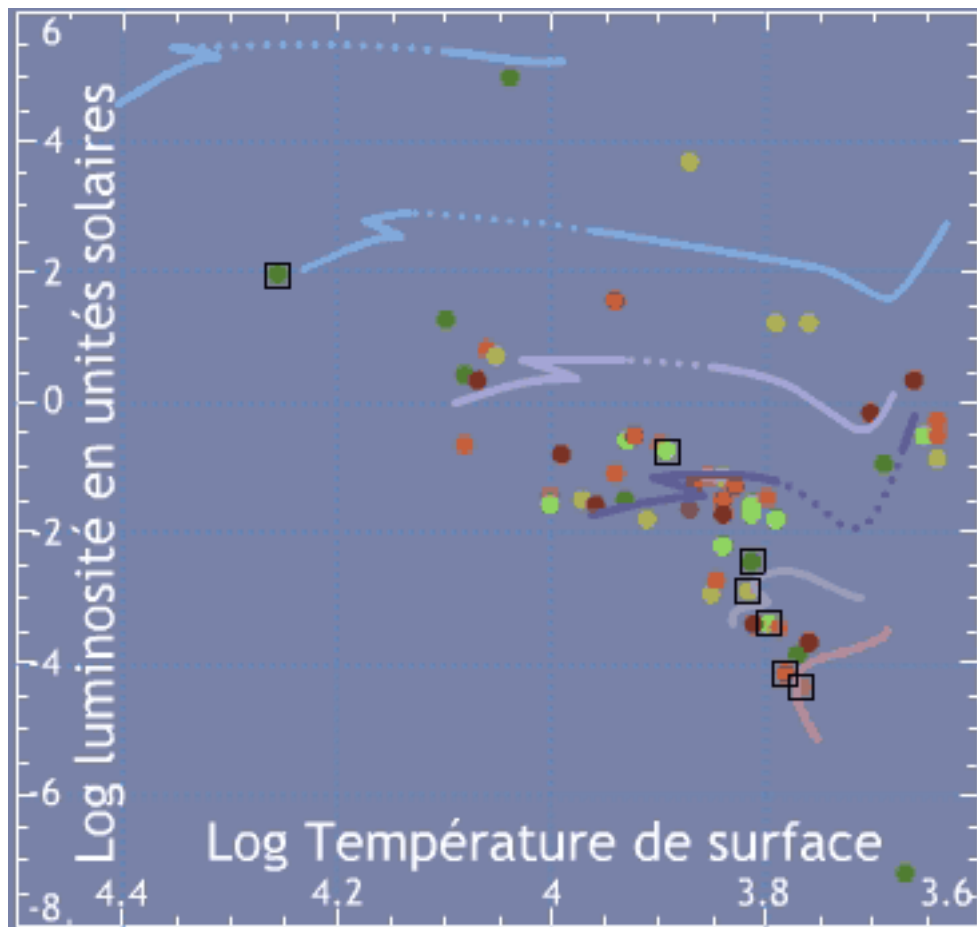


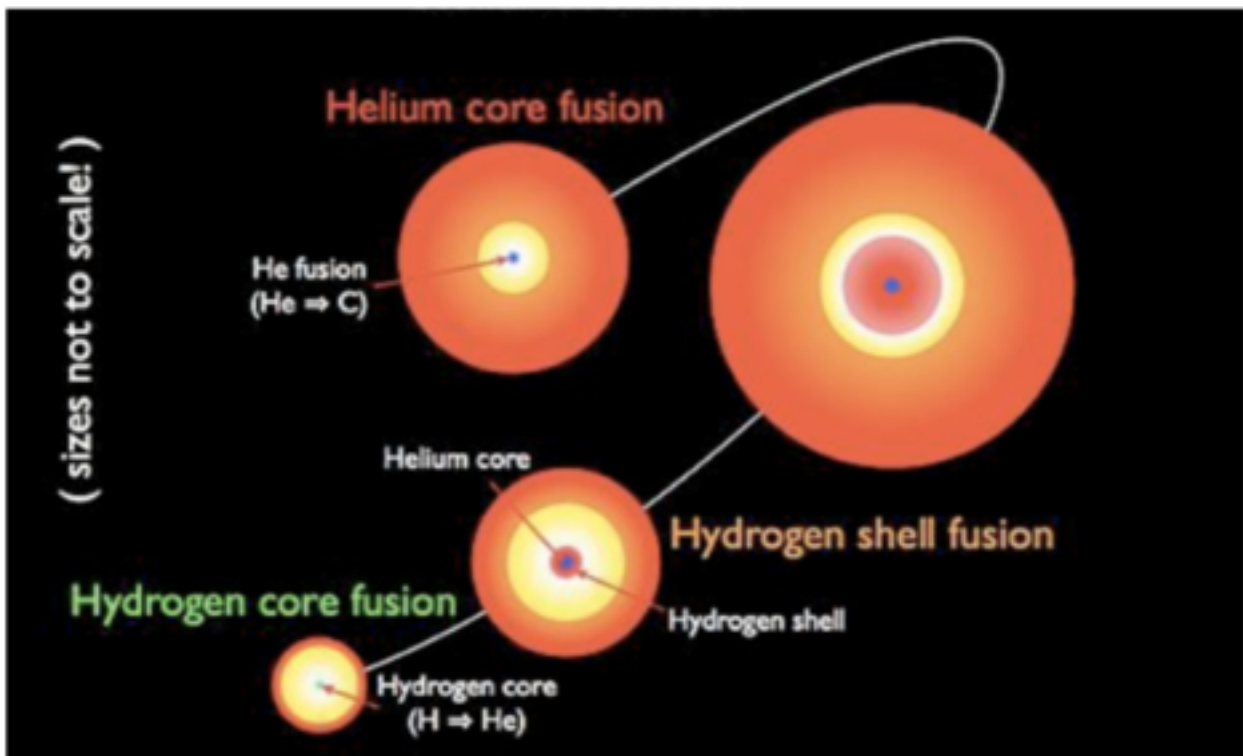
Diagramme luminosité/température (HR) des étoiles à observer par CoRoT pendant 150 jours. Chaque couleur correspond à une observation différente. Les étoiles les plus brillantes sont indiquées par un carré.

De plus, l'exploitation des mesures d'oscillations et des petites vibrations périodiques qui se traduisent par de très faibles variations de luminosité à la surface des étoiles a permis non seulement de sonder l'intérieur des astres mais aussi de mesurer, en connaissant la température effective, leur masse et leur rayon, de façon totalement indépendante des autres méthodes connues jusque là. Ainsi, on a réussi à sonder, pour la première fois, le cœur de plusieurs centaines d'étoiles géantes rouges.

Les géantes rouges représentent le stade avancé de l'évolution d'une étoile. C'est le stade qu'atteindra le Soleil dans environ 6 milliards d'années : Dans un premier temps, lorsque l'hydrogène, qui constitue le combustible principal de l'astre, est totalement brûlé au centre, les réactions nucléaires se déplacent vers les couches les plus externes. L'étoile se gonfle alors et devient géante et rouge car les régions les plus externes se refroidissent en se dilatant. Au même moment, les régions centrales sans source d'énergie se contractent. Dans un deuxième temps, lorsque le cœur de l'étoile devient suffisamment dense, c'est l'hélium qui peut entrer en fusion au centre.

Par conséquent, grâce à l'étude des résultats des satellites de CoRoT et de Kepler, les astrophysiciens ont pu distinguer où se situaient les réactions de fusion nucléaire selon les cas : soit au cœur même de l'étoile, soit dans des couches plus externes. C'est une *découverte majeure* pour la compréhension des étoiles, car jusqu'ici rien ne permettait aux astronomes d'isoler ces stades qui correspondent à une étape différente de la vie d'une étoile.





Vue d'artiste de l'évolution d'une étoile « de type solaire » jusqu'à la phase de géante rouge.

Et enfin on a pu caractérisé les périodes de rotation de ces étoiles pulsantes<sup>12</sup> « de type solaire ».

Au-delà des objectifs scientifiques initiaux de la mission qui ont été atteints, CoRoT a apporté des résultats inattendus comme:

- L'activité et la rotation des étoiles, qui se sont révélées aussi une source de bruit pour la détection des planètes.
- La découverte des vibrations des géantes rouges, qui a donné aux astrophysiciens la possibilité de sonder notre galaxie grâce à l'archéochronologie<sup>13</sup> galactique.
- LA détection et l'analyse des disques des étoiles jeunes...

CoRoT a donc recueilli une exceptionnelle quantité de données de très haute précision sur les variations infimes de l'éclat de milliers d'étoiles au cours du temps. Outre ses deux objectifs principaux, il a contribué à comprendre de nombreux autres sujets. et a aussi étudié une grande variété d'autres phénomènes qui se manifestent par des variations d'éclat des étoiles.



L'interprétation scientifique des données continue... Il faudra compter plusieurs années pour mener l'exploitation à son terme. Actuellement, les scientifiques ont pris le soin d'archiver les données afin de les mettre à la disposition de la communauté internationale.

*La communauté scientifique est comblée....*

**Pour conclure**, la mission de CoRoT fut sans doute un succès.

Pourtant, le bombardement intense par les particules de haute énergie qui sillonnent l'espace n'était pas sans conséquences. Ainsi, en fin 2009, le satellite a eu droit à une panne survenue dans les systèmes de détection du satellite (radiation suite à la traversée de l'anomalie magnétique de l'Atlantique sud) ; Pour y remédier, un dispositif de secours a alors été utilisé et la mission a été prolongée. Mais la panne du 2 novembre 2009 lui a été fatale. Par conséquent, on devrait le voir retomber sur Terre en 2048. Mais Ce retrait du service du satellite ne signifie pas que c'est la fin du programme Corot car il est considéré comme pionnier aux projets futurs. Ainsi, si l'héritage de CoRoT est considérable, ses successeurs sont nombreux. A l'ESA, la mission Cheops, sélectionnée en 2012 pour un lancement en 2017, et les missions EChO et Plato ( voir Annexe 3 ), en compétition pour un lancement en 2024, se nourrissent de l'expérience de CoRoT. Au sol, de nombreuses campagnes de détection d'exoplanètes sont en cours. Outre Atlantique, le satellite Kepler de la NASA (aujourd'hui arrêté lui aussi) a suivi CoRoT à partir de 2009, et la mission TESS vient d'être sélectionnée. En 2012, malgré les succès de Kepler, la majorité des téléchargements de données depuis l'archive CoRoT a été effectuée depuis les États-Unis.

## Annexe 1 : Lexique :

1. Du latin tellus, « la terre, le sol », en opposition aux planètes gazeuses, est une planète composée essentiellement de roches et de métal. Dans notre Système solaire, les planètes telluriques sont Mercure, Vénus, la Terre et Mars. La Lune ainsi que Io, la première des quatre grosses lunes de Jupiter, ont une structure similaire et pourraient donc aussi être qualifiés de telluriques.
2. La sismologie ou séismologie étudie les séismes ( tremblements de terre ) et plus généralement la propagation des ondes à l'intérieur de la Terre.
3. Ils l'ont découverte après avoir étudié plusieurs autres étoiles avec le spectrographe ELODIE sur le télescope de 1,93 mètre de l'Observatoire de Haute-Provence en France. Ils ont mesuré les variations de vitesse au cours du temps.
4. Ce n'est pas vraiment de la première exoplanète découverte car une autre planète avait déjà été découverte par Alexander Wolszczan dès 1992 autour du pulsar PSR B1257+12, mais elle ne fut confirmée qu'en 1997.
5. La discipline qui étudie les mouvements sismiques (aussi appelées oscillations) des étoiles autres que le Soleil (dans ce cas, on parle d'héliosismologie)
6. Nombre qui caractérise l'éclat apparent ou absolu d'un astre.
7. (Plateforme Reconfigurable pour l'Observation, pour les Télécommunications et les Usages Scientifiques),
8. C'est à dire sans écho
9. Myriade est une plateforme (bus) pour micro-satellites développée par le CNES dans la continuité du programme PROTEUS.
10. Consultative Committee for Space Data Systems
11. Un radôme (de radar et dôme) est un abri protecteur imperméable utilisé pour protéger une antenne des intempéries et/ou des regards, afin de ne pas divulguer l'orientation de l'antenne (dans le cadre d'écoutes/interception de communications)
12. Ce sont les étoiles qui tournent vite en surface.



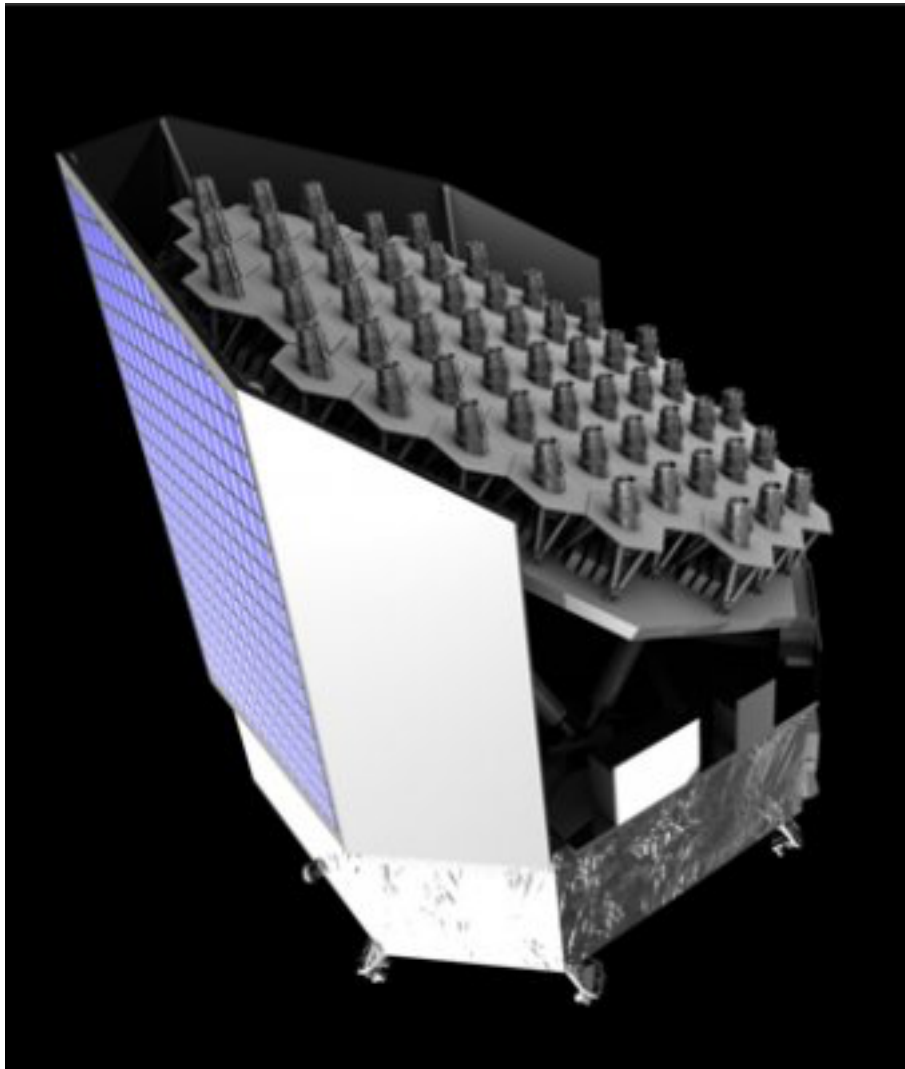
13. C'est la caractérisation et la datation des populations d'étoiles.

## **Annexe 2 : Particularités techniques du satellite CoRot.**

<b>Masse</b>	entre 570 et 630 kg
<b>Masse Charge Utile</b>	environ 270 kg
<b>Longueur</b>	4100 mm
<b>Diamètre</b>	1984 mm
<b>Puissance électrique</b>	380 W
<b>Précision du pointage</b>	0.5 arcsec
<b>Téléométrie</b>	900 Mbit/jour
<b>Capacité mémoire de masse</b>	2 Gbit
<b>Capacité de pointage</b>	120 m/s
<b>Durée de la mission</b>	2.5 ans minimum

## Annexe 3 : Le Satellite Plato.

C'est un instrument doté de 34 télescopes avec un très large champ qui permettra d'observer un très grand nombre d'étoiles brillantes. L'objectif scientifique de la mission sera de détecter, grâce à la méthode des transits planétaires, des planètes rocheuses dans la zone habitable et – simultanément – de déterminer, grâce à la sismologie, les caractéristiques des étoiles hôtes de planètes.



## **Annexe 4 : Réalisation de CoRoT.**

Coût CNES :

- Environ 60 milliards d'euros.
- +50 ingénieurs CNES/CNRS (5ans).
- + 150 à 200 scientifiques (Le leadership français ).
- De nouveaux partenaires européens et des partenaires brésiliens rejoignent le projet.

# Références.

- <https://www.obspm.fr/le-satellite-corot-tire-sa.html>
- <http://physique.unice.fr/sem6/2007-2008/PagesWeb/ProjetAstro/conclusion.html>
- <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-corot-chasseur-exoplanetes-termine-mission-54134/>
- <http://www.insu.cnrs.fr/node/4408>
- Exoplanètes - Rêves de nouvelles planètes, Jérôme Fenoglio et Christiane Galus, Le Monde, 27 décembre 2006
- <https://cnes.fr/fr/web/CNES-fr/8576-gp-7-nouvelles-planetes-decouvertes-par-corot.php>
- <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-corot-chasseur-exoplanetes-ne-repond-plus-43894/>
- <http://www.planetastronomy.com/special/2006-special/saf-corot-bagl-jan06.htm>
- [https://www-n.oca.eu/cassiopee/PresentationLabo/Cassiopee\\_Stellaire.html](https://www-n.oca.eu/cassiopee/PresentationLabo/Cassiopee_Stellaire.html)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Planète\\_tellurique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Planète_tellurique)
- <http://visual.ly/la-mission-du-satellite-corot>